

УДК 641.165

Э. Г. БРАТУТА, канд. техн. наук,
А. Ю. ИВАНОВСКИЙ, инж.

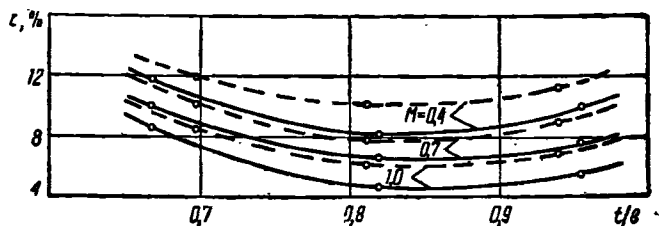
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ОТНОСИТЕЛЬНОГО ШАГА ДЛЯ
СОПЛОВЫХ РЕШЕТОК ЦВД С УСИЛЕННЫМ ПРОФИЛЕМ**

Увеличение перепада давления на диафрагмах ЦВД мощных паровых турбин вызывает необходимость прочностного усиления диафрагм с сохранением высокого уровня экономичности

* Bindon J. P. and Carmichael A. D. — «J. Mechanical Engineering Science», 1971, 13, № 5, p. 325.

направляющих аппаратов. Перспективным решением в этом плане представляется применение усиленного профиля с увеличенным моментом сопротивления ТС-1АВ, совмещающего в одну деталь силовую стойку и профиль ТС-1А.

Положительные результаты [1], полученные в лаборатории газодинамики Харьковского турбинного завода при воздушных испытаниях профилей ТС-1АВ, позволили внедрить их в практику изготовления направляющих аппаратов ЦВД влажнопаровых турбин, а также турбин типа К-300-240 и К-500-240, ЦВД которых работают в области перегретого пара.



Настоящая работа содержит результаты исследования оптимального относительного шага для сопловых решеток ЦВД с усиленным профилем и сравнения эффективности решеток усиленных профилей ТС-1АВ и решеток исходного профиля ТС-1А. В соответствии с задачей определения относительного шага, соответствующего минимуму всех видов потерь в решетке, представилось целесообразным провести испытания на специальном стенде [2], позволяющем путем измерения реактивной силы потока установить интегральные показатели решетки при истечении перегретого и влажного пара. Испытания проведены на перегретом паре при начальном давлении 1,1 бар и температуре $t_0 = 150^\circ \text{C}$, позволяющей реализовать процесс расширения полностью в области перегретого пара.

На рисунке показана зависимость коэффициента потери энергии ζ от величины относительного шага t/b (сплошная линия — ТС-1А; пунктирная — ТС-1АВ). В указанном отношении принимается хорда «основного» профиля. Критерий Маха взят в качестве параметра кривых. Наиболее характерной особенностью представленных результатов является четко выраженный оптимум величины относительного шага t/b , равный 0,82 — 0,83. Как известно, наличие оптимального шага связано со взаимодействием нескольких факторов. Так, по мере роста t/b происходит ухудшение обтекания выпуклой стороны профиля, частично компенсируемое снижением потерь на вогнутой стороне; встречную тенденцию при этом представляет монотонное уменьшение потерь, связанных с конечной толщиной кромки профиля.

Из рисунка видно, что зависимости $\zeta = f(t/b; M)$ таковы,

что во всем диапазоне изменения t/b величина потерь энергии для профилей ТС-1АВ примерно на 1—1,5% выше, чем для профилей ТС-1А. Этот результат находится в соответствии с данными, полученными в работе [1], и связан с увеличением в решетках ТС-1АВ длины входной части профиля. Характерно, что во всем диапазоне исследованных значений критерияльного числа M уменьшаются общие потери энергии с ростом значения M , однако изменение критерия Маха от 0,4 до 1,0 практически не изменяет величины оптимального шага решетки.

Для объяснения одной из особенностей полученных зависимостей остановимся на оценке величины концевых потерь. Как известно, абсолютное значение потерь, вызываемых вторичными течениями, при уменьшении высоты решетки вплоть до смыкания зон вторичных течений сохраняется неизменным, т. е. относительные концевые потери меняются обратно пропорционально высоте лопатки. В настоящей работе исследовались решетки с относительной высотой $l/b = 0,65$. Для такого соотношения в решетках современных профилей направляющих аппаратов концевые потери оцениваются равными 1,7—2,5% [3, 4]. В работе [4] отмечается также, что концевые потери в функции относительного шага имеют минимум, относительно которого наблюдается заметный рост потерь. Так, для решетки, имеющей $l/b = 0,65$, уменьшение относительного шага от 0,74 до 0,55 приводит к увеличению потерь приблизительно на 1%. С учетом этого обнаруживаемый на рисунке значительный рост потерь энергии с отклонением t/b от оптимального значения может быть объяснен тем, что при этом возрастают значения не только профильных или кромочных, но также и концевых потерь.

Результаты исследования полных потерь энергии решеток ТС-1А и ТС-1АВ методом измерения реактивной силы обнаружили несколько более высокие значения потерь энергии сравнительно с известными (для профиля ТС-1А) результатами сложения профильных и концевых потерь, полученных пневмометрированием.

По нашему мнению, это обстоятельство можно объяснить несколькими факторами.

Одним из важных методических вопросов при интегральном принципе исследования решеток является влияние конечного числа каналов в решетке. Предпринятые нами методические исследования [5] лишь подтвердили тот факт, что при числе каналов $n = 7$ зависимости для углов выхода потока и коэффициентов потерь энергии будут качественно свободны от самостоятельного влияния числа каналов при варьировании геометрии и режимными параметрами работы решеток. Эти результаты согласуются с результатами работ М. Ф. Федорова, М. Д. Сенниченко, В. А. Баранова и М. Е. Дейча.

Однако это вовсе не означает, что при числе каналов в решетке $n = 7$ представляется возможным количественно получить

те же результаты, что и при бесконечном числе каналов, что практически реализуется при пневмометрическом методе измерений, когда для проведения исследования выделяются два средних канала решетki.

Вторым фактором, связанным с отличием результатов, полученных разными методами измерения, представляется невозможность полного измерения профильных, в особенности концевых потерь с помощью зондов в тех мерных сечениях, которые обычно рекомендуются для этой цели.

В итоге следует отметить то обстоятельство, что известные в настоящее время результаты определения потерь методом взвешивания [4, 6], как и результаты настоящей работы, дают заметно более высокие значения суммарных потерь, чем пневмометрические методы.

Роль указанных расхождений не представляется нам чрезмерно существенной в связи с тем, что при исследовании плоских и кольцевых решеток абсолютное значение их к. п. д. не является самоудовлетворительным. Основная роль исследования на моделях, как известно, связана либо с определением оптимальных геометрических сочетаний, либо с установлением приращения к. п. д. сравнительно с ранее полученными результатами.

С учетом изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Использование профилей ТС-1АВ в целях упрочнения диафрагмы приводит к увеличению суммарных потерь в сопловом аппарате на 1—1,5%, что существенно меньше, чем в случае применения с той же целью силовых стоек [7].

2. Характер изменения потерь в зависимости от относительного шага не претерпевает изменений в решетках, составленных из профилей ТС-1АВ сравнительно с решетками профилей ТС-1А.

3. Сопоставление энергетических характеристик решеток ТС-1А и ТС-1АВ свидетельствует о том, что величина оптимального шага сохраняется неизменной.

ЛИТЕРАТУРА

1. Исследования сопловых лопаток с увеличенным моментом сопротивления. — «Теплоэнергетика», 1972, № 5, с. 90—92. Авт.: Ю. Ф. Косяк, С. П. Соболев, Ю. Э. Юшкевич и др.
2. Братута Э. Г., Заночкин Л. А., Ивановский А. Ю. Стенд для определения характеристик двухфазного потока в плоских решетках турбинных профилей методом взвешивания импульса. — Сб. «Энергетическое машиностроение». Вып. 13. Харьков, 1972, с. 36—41.
3. Аэродинамическое совершенствование лопаточных аппаратов. Госэнергоиздат, 1960, с. 340. Авт.: Е. А. Гукасова, М. И. Жуковский, А. М. Завадовский и др.
4. Дейч М. Е., Самойлович Г. С. Основы аэродинамики осевых турбомашин. Машгиз, 1959, с. 427.
5. Братута Э. Г., Ивановский А. Ю. Интегральные углы выхода потока сопловых решеток с увеличенным моментом сопротивления. — Сб. «Энергетическое машиностроение». Вып. 18. Харьков, 1974.
6. Шишкин Л. А. Исследование аэродинамических характеристик сопловых турбинных решеток на влажном паре. Автореф. дис., М., 1970, с. 9.

7. Юшкевич Ю. Э., Гольман В. И., Пясык Д. Н. О влиянии силовых стоек диафрагм на коэффициент расхода и к. п. д. ступени высокого давления паровых турбин. — «Энергомашиностроение», 1968, № 2, с. 81—83.